



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Offenlegungsschrift  
10 DE 40 26 494 A 1

51 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
C 23 C 14/24  
C 04 B 35/58

21 Aktenzeichen: P 40 26 494.7  
22 Anmeldetag: 22. 8. 90  
43 Offenlegungstag: 27. 2. 92

DE 40 26 494 A 1

71 Anmelder:  
Plasco Dr. Ehrich Plasma-Coating GmbH, 6501  
Heidesheim, DE

74 Vertreter:  
von Kreisler, A., Dipl.-Chem.; Selting, G., Dipl.-Ing.;  
Werner, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Schönwald, K.,  
Dr.-Ing.; Fues, J., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Böckmann  
gen. Dallmeyer, G., Dipl.-Ing.; Hilleringmann, J.,  
Dipl.-Ing.; Jönsson, H., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.,  
Pat.-Anwälte, 5000 Köln

62 Teil in: P 40 42 337.9

72 Erfinder:  
Ehrich, Horst, Dipl.-Phys. Dr., 4270 Dorsten, DE;  
Mausbach, Michael, Dipl.-Phys., 4600 Dortmund, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung zur Materialverdampfung mittels Vakuumlichtbogenentladung und Verfahren

57 Die Erfindung beschreibt eine Vorrichtung zur Materialverdampfung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit einer selbstverzehrenden Kathode und einer selbstverzehrenden heißen Anode in einer Unterdruckkammer sowie ein Verfahren zur Verlängerung der Standzeit von Elektroden bei der Materialverdampfung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit heißer selbstverzehrender Anode und kalter selbstverzehrender Kathode, ein Verfahren zur Zündung einer Vakuumlichtbogenentladung mit kalter selbstverzehrender Kathode und heißer selbstverzehrender Anode sowie ein Verfahren zur Steuerung des Ionisationsgrades des auf ein zu beschichtendes Objekt auftreffenden Dampfes bei der Oberflächenbeschichtung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit selbstverzehrender kalter Kathode und selbstverzehrender heißer Anode.

DE 40 26 494 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Materialverdampfung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit einer selbstverzehrenden Kathode und einer selbstverzehrenden heißen Anode sowie ein Verfahren zur Verlängerung der Standzeit von Elektroden, ein Verfahren zur Zündung des Vakuumlichtbogens und ein Verfahren zur Steuerung des Ionisationsgrades in dieser Vorrichtung zur Materialverdampfung für die Beschichtung von Oberflächen.

Zur Herstellung von Beschichtungen auf Oberflächen mit Hilfe der physikalischen Dampfabcheidung im Vakuum (PVD-Verfahren) sind viele Methoden bekannt.

In den letzten Jahren hat man erkannt, daß plasma- und ionengestützte PVD-Verfahren gegenüber den klassischen Aufdampfverfahren Vorteile bieten hinsichtlich der Qualität der erzeugten Schichten. Insbesondere lassen sich durch Anwendung der plasma- und ionengestützten Verfahren eine größere Haftfestigkeit der Beschichtung auf Substratoberflächen sowie eine größere Kompaktheit des Schichtaufbaus erzielen. Darüber hinaus eröffnen die plasmagestützten Verfahren aufgrund der hohen chemischen Reaktionsbereitschaft von Plasmen die Möglichkeit, reaktive Beschichtungsprozesse durchzuführen. Weit verbreitet ist bereits der Einsatz plasmagestützter Verfahren bei der Oberflächenvergütung von Werkstücken mit verschleißfesten Hartstoffschichten, wie Titanitrid.

Die Herstellung von Beschichtungen auf Oberflächen mittels plasmagestützter PVD-Verfahren erfolgt im wesentlichen in vier Verfahrensschritten. Der Überführung des Verdampfungsgutes in den dampfförmigen Zustand durch Aufheizen oder Ionenbeschuß, dem Transport des Materialdampfes vom Verdampfungsgut zur Substratoberfläche bei reduziertem Umgebungsdruck, der Überführung des Materialdampfes während dieser Transportphase in den Plasmazustand (unter Umständen unter Anwendung eines Prozeßgases) und der Kondensation des Materials aus dem Plasmazustand auf die Substratoberfläche.

Die plasmagestützten Verfahren unterscheiden sich von der klassischen Aufdampftechnik durch die Überführung des Aufdampfmaterials in den Plasmazustand während der Transportphase; hierzu ist bei einigen Verfahren ein Prozeßgas notwendig. Bei der Kondensation aus dem Plasmazustand verbessert die Beteiligung von energiereichen neutralen Atomen und Ionen und möglicherweise der Einfluß von Elektronen und UV-Licht die Haftung und Struktur der erzeugten Beschichtung. Eine Reihe von plasmagestützten Beschichtungsverfahren benötigen zur Erzeugung des Plasmas ein Prozeßgas oberhalb eines Druckes von ca.  $10^{-3}$  mbar. Zu diesem Verfahren zählen die Kathodenzerstäubung, das Ionenplattieren und die Verwendung von Niedervoltbögen mit einer in einer vom Aufdampfraum durch eine Druckstufe getrennten Glühkathode (US 41 97 157) oder einer Hohlkathode (US 35 62 141).

Dieses Prozeßgas bietet Vorteile hinsichtlich der Zündbarkeit, der Entladung sowie bei Beschichtungen, wo eine Streuung des Beschichtungsmaterials während der Transportphase erwünscht ist. Ein weiterer Vorteil ergibt sich bei der Durchführung von reaktiven Beschichtungen dadurch, daß das die Entladung aufrecht haltende Prozeßgas gleichzeitig als Reaktionspartner bei der reaktiven Beschichtung dient.

Für viele Anwendungen jedoch ist die Anwesenheit eines Prozeßgases während der Transport- und Kondensationsphase äußerst ungünstig. Das Prozeßgas wird während der Schichtbildung in die Schicht eingebaut und dies führt zu wenig kompakten und spröden Schichten. Weiterhin beeinflusst ein Prozeßgas in unerwünschter Weise das kristalline Wachstum der Schichten, was zum Beispiel zur Förderung der unerwünschten Säulenstruktur der Schichten führen kann.

Schließlich begrenzt die Verwendung eines Prozeßgases den zur Beschichtung geeigneten Bereich auf den eigentlichen Entladungsraum oder dessen nahe Umgebung. Außerhalb des Entladungsraumes erfolgt durch Stoßprozesse eine schnelle Rekombination des Plasmas, so daß hier kein plasmagestützter Beschichtungsprozeß mehr stattfinden kann.

Ionisierte Materialdämpfe ohne Anwendung eines Prozeßgases werden in sogenannten Vakuumlichtbögen erzeugt. Allgemein wird unter einem Vakuumlichtbogen eine stromstarke Entladung zwischen in einer Unterdruckkammer angeordneten Elektroden verstanden. Im Gegensatz zu den oben erwähnten Entladungen benötigt ein Vakuumlichtbogen zum Betrieb kein von außen zugeführtes Prozeßgas. Dieses wird ersetzt durch während des Bogenbetriebes abdampfendes Elektrodenmaterial. Bekannt sind die im folgenden aufgeführten Typen von Vakuumlichtbögen, die sich durch die unterschiedlichen physikalischen Vorgänge an den Elektroden unterscheiden.

In der FR-A-14 96 697 wird eine Vorrichtung mit einem Vakuumlichtbogen mit heißer elektronenemittierender Kathode, einer sogenannten Glühkathode, und heißer, verdampfender Anode beschrieben. Die von der Glühkathode emittierten Elektronen werden magnetisch auf einen sehr kleinen Bereich der Anode von 0,25 mm<sup>2</sup> fokussiert. Infolge der starken Fokussierung tritt so starke anodische Verdampfung ein, daß ein Lichtbogen entsteht mit dem Anodendampf als Brenngas. Weiterhin bekannt aus A.M. Dorodnov, A.N. Kusnetsov und V.A. Petrosov: Sov. Phys. Letters Vol. 5, No. 8, 418, 1979 ist eine Anordnung mit zylindrischer Glühkathode und einer innerhalb dieser Glühkathode angebrachten sich selbst verzehrenden Anode. Ein industrieller Einsatz dieser beiden Vakuumlichtbögen für Beschichtungen ist bisher nicht bekannt.

Vakuumlichtbögen mit selbstverzehrender Kathode und kalter inaktiver Anode zur Erzeugung ionisierter Materialdämpfe für Beschichtungszwecke sind bereits seit langem bekannt. Die grundlegende Wirkungsweise eines solchen Lichtbogenverdampfers beschreibt die US 36 25 848. Charakteristisches Merkmal des kathodischen Vakuumbogens sind die sogenannten Kathodenflecke. Dies sind regellos auf der Arbeitsfläche der Kathode umherlaufende kleine Fußpunkte des Lichtbogenansatzes. Die hohe Stromkonzentration von  $10^5$  bis  $10^7$  A/cm<sup>2</sup> in diesen Kathodenflecken führt zu einer starken Materialabtragung im Bereich der Kathodenflecke. Das verdampfte und ionisierte Kathodenmaterial dient einmal als Brenngas für den Erhalt des kathodischen Vakuumbogens; das Kathodenmaterial wird zum anderen aber auch zur Herstellung von Beschichtungen auf

Oberflächen benutzt.

Ein wesentlicher Nachteil dieser Beschichtungsmethode ist die Entstehung von kleinen geschmolzenen Materialtröpfchen in den Kathodenflecken. Diese geschmolzenen Tröpfchen verlassen die Kathodenflecken mit hoher Geschwindigkeit und werden in die Beschichtung eingelagert, so daß die so hergestellten Beschichtungen in ihrer Struktur aus erstarrten Metalltröpfchen bestehen (D. M. Sanders: Journal of Vacuum Science and Technology A 7, No. 3, 2339, 1989).

Die DE 32 34 100 beschreibt zur Beseitigung dieses Nachteils eine Vorrichtung zur magnetischen Trennung von neutralen und geladenen Teilchen, wobei das Werkstück nur mit geladenen Teilchen, d. h. Metallionen behandelt wird.

Auf diese Weise werden die unerwünschten Metalltröpfchen vom Werkstück ferngehalten. Wegen der großen Verluste an Verdampfungsgut während der Transportphase durch diesen Trennungsprozeß ist diese Methode im allgemeinen nicht wirtschaftlich einsetzbar.

Die DE 34 13 891 beschreibt als gattungsgemäß nächstliegenden Stand der Technik ein plasmagestütztes Beschichtungsverfahren durch Anwendung von Vakuumlichtbögen mit kalter Kathode und heißer verdampfenden Anode (anodischer Vakuumbogen). Dieser anodische Vakuumbogen benutzt die im vorgehenden beschriebene kalte Kathode mit dem wesentlichen Unterschied, daß das von der Kathode erodierte Material erst gar nicht für Beschichtungszwecke genutzt wird, so daß das Problem der Metalltröpfchen grundsätzlich vermieden wird. Vielmehr werden die in den Kathodenflecken und der Lichtbogenentladung gebildeten Elektronen dazu verwendet, eine strukturierte Anode aufzuheizen und dann das mit der Anode verbundene Verdampfungsgut zu verdampfen. Es handelt sich dabei um eine Variante der Elektronenstrahlverdampfung. Die Elektronen aus den Kathodenflecken verdampfen dabei nicht nur das Anodenmaterial, sondern überführen durch nichtelastische Stöße das abdampfende Anodenmaterial gleichzeitig auch in den für eine Beschichtung erwünschten Plasmazustand. Das anodische Plasma dient weiterhin auch als Brenngas für die Lichtbogenentladung. Der von der selbstverzehrenden Anode in die Unterdruckkammer expandierende ionisierte Metaldampf enthält keine geschmolzenen Tröpfchen und wird zur Beschichtung von Oberflächen verwendet, womit dieses Verfahren den wesentlichen Nachteil des kathodischen Vakuumbogens vermeidet. Zusätzlich wird eine Beteiligung von Kathodenmaterial an der Schichtbildung während des Beschichtungsvorgangs durch ein die Kathode umgebendes Schutzschild vermieden.

Die im folgenden aufgeführten Publikationen behandeln wissenschaftliche Aspekte dieser neuartigen Lichtbogenentladung.

- H. Ehrich: J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 6, No. 1, 134 (1988)
- H. Ehrich, B. Hasse, K. G. Müller und R. Schmidt: J. Vac. Sci. Technol. A, Vol. 6, No. 4, 2499 (1988)
- H. Ehrich, Vakuum Technik 37, 176, (1988).

Diese Vakuumlichtbogenentladung hat in den letzten Jahren seine Eignung als Grundlage eines neuen, plasmagestützten Beschichtungsverfahrens bewiesen und ist zum Beispiel geeignet für die metallische Beschichtung von Compact-Discs (CD). Es wurde festgestellt, daß die nach diesem Verfahren hergestellten Schichten eine bessere Qualität aufweisen, als Beschichtungen, die mit anderen Verfahren hergestellt wurden. Diese qualitativen Verbesserungen betreffen sowohl die Haftfestigkeit der Schichten auf Substratoberflächen wie auch den kristallinen Aufbau der Schichten. Der günstige kristalline Aufbau der Schichten führt unter anderem zu guten optischen Eigenschaften, stabilen mechanischen Eigenschaften sowie einer höheren Resistenz gegen äußere chemische Einflüsse (H. Ehrich, B. Hasse, M. Mausbach und K.G. Müller, Journal of Vacuum Science and Technology A, Vol. 8, No. 3, 2160 (1990)).

Das technische Problem der vorliegenden Erfindung ergibt sich daraus, daß zur Durchführung von Beschichtungen mit Hilfe des vorgenannten anodischen Vakuumlichtbogens bisher nur Vorrichtungen bekannt sind, die für einen kurzzeitigen Betrieb der Lichtbogenentladung im Labormaßstab bei relativ geringen Stromstärken unter 150 A geeignet sind. Solche Vorrichtungen werden in der DE 34 13 891 und der US 49 17 786 beschrieben. Dieser kurzzeitige Betrieb resultiert daraus, daß sich das Material an beiden Elektroden schnell verbraucht und für industrielle Anwendungen zu geringe Standzeiten erreicht werden. So wird zum Beispiel bei der Verdampfung von Aluminium in Wolfram-Tiegeln die Betriebszeit des Lichtbogens dadurch begrenzt, daß das die Metallschmelze fixierende hochschmelzende Anodenmaterial mit der Metallschmelze (flüssiges Aluminium) eine Legierung bildet, woraus sich eine Standzeitreduzierung des aktiven Anodenmaterials auf 5 Minuten ergibt.

Ein weiterer Nachteil, der bei den bisherigen Vorrichtungen zu einem kurzzeitigen Betrieb führte, betrifft die Zündung des Vakuumlichtbogens, die für industrielle Einsätze wenig geeignet ist. Die Kontaktierung der Lichtbogenelektroden führt häufig zur Verschweißung beider Elektroden, insbesondere bei wiederholter Zündung mit bereits aufgeheizter Anode. Eine Zündung des Lichtbogens mit Hilfe einer beweglichen Hilfselektrode erfordert einen relativ großen konstruktiven Aufwand, insbesondere wenn die Elektroden in größeren Aufdampfanlagen weit entfernt von den Wänden der Unterdruckkammer angeordnet werden sollen. Die weiterhin in der DE 34 13 891 vorgeschlagene Vorrichtung zur Zündung des anodischen Vakuumlichtbogens mit Hilfe eines Gleitfunken ist wegen der dazu erforderlichen Hochspannung von über 20 kV aus sicherheitstechnischen Gründen und wegen der Gefahr von Überschlüssen an den elektrischen Durchführungen nicht für den praktischen Betrieb geeignet. Insbesondere die nicht erwünschte aber häufig auftretende Verschweißung der Elektroden erfordert immer wieder Eingriffe in die Vorrichtung und verhindert den erwünschten langzeitigen Betrieb der Lichtbogenentladung im industriellen Maßstab.

Ein weiteres technisches Problem, das den langzeitigen Betrieb der Vorrichtung verhindert, ist, daß der Ionisationsgrad des auf das Objekt auftreffenden Dampfes bisher nicht gesteuert wurde, so daß zur Erreichung verbesserter Haftfestigkeiten unter Umständen mehrmals mit dazwischen eingeschobenen Abkühlungsab-

schnitten metallisiert werden mußte, um eine genügende Haftfestigkeit zu erreichen.

Die Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Langzeitmaterialverdampfung, die für die industrielle Anwendung geeignet ist, unter Vermeidung der vorstehend genannten Nachteile, zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung zur Materialverdampfung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit einer selbstverzehrenden Kathode und einer selbstverzehrenden heißen Anode in einer Unterdruckkammer gelöst, die eine Kathode mit einer kühlbaren Kathodenzuführung (1), auf der die Kathode (3) befestigt ist, enthält, wobei die Kathode (3) von einem temperaturbeständigen elektrisch isolierenden Material (4) umgeben ist, und dieses Material (4) wiederum von einem äußeren elektrisch leitfähigen Mantel (6) umgeben ist, wobei das Material (4) auf der Stirnseite mit einer elektrisch leitfähigen Schicht (5) versehen ist, so daß die Schicht (5) die Kathode (3) elektrisch mit dem äußeren Mantel (6) verbindet, und die Vorrichtung ferner eine Anode enthält, bestehend aus einem kühlbaren Anodenträger (7), an dem die Anodenbasisplatte (9) befestigt ist, wobei sich an der Anodenbasisplatte (9) ein Behälter aus einem elektrisch leitfähigen, hochschmelzenden Material (10, 12) zur Aufnahme des Verdampfungsgutes befindet.

In einer bevorzugten Ausführungsform besteht der Behälter (10, 12) an der Anodenbasisplatte (9) aus einem keramischen Material, vorzugsweise Bornitrid. Der Behälter (10, 12) weist vorzugsweise in seiner Bodenplatte eine Bohrung auf, durch die ein elektrisch leitfähiger Stift (13, 15) geführt wird, und dieser Stift in den Behälter hineinragt, so daß das zur Verdampfung vorgesehene Material (14) mit dem Stift elektrisch verbunden ist. Vorzugsweise besteht dieser Stift aus Titandiborid. Der Stift (13, 15) kann dabei je nach Ausführungsform aus dem zur Verdampfung vorgesehenen Material (14) herausragen oder nicht herausragen. Weiterhin können mehrere Stifte (13, 15, 17) vorhanden sein.

In einer weiteren Ausführungsform kann der Stift (17) auch ohne Behälter vorhanden sein, wobei auf der Anodenbasisplatte (11) eine elektrische Abschirmung (16) angebracht ist mit einer mittig angeordneten Bohrung, durch die der Stift (17) geführt ist.

Die Kathode (3) besteht aus einer Legierung mit einem leicht zu verdampfenden Bestandteil, vorzugsweise Messing.

Weiterhin enthält die Kathodenzuführung (1) ein Gewinde, an dem die Kathode (3) mittels einer Überwurfmutter (2) befestigt ist. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist im äußeren elektrisch leitfähigen Mantel (6) ein Fenster (6a) vorhanden. Der Behälter (10, 12) kann beheizbar sein und zwischen dem Behälter (10, 12) an der Anode und der Anodenbasisplatte (9) kann sich vorzugsweise eine thermisch isolierende Schicht befinden.

Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren zur Verlängerung der Standzeit von Elektroden bei der Materialverdampfung mittels einer Vakuumlichtbogenentladung mit heißer selbstverzehrender Anode und kalter selbstverzehrender Kathode, wobei die Standzeit der Kathode dadurch verlängert wird, daß sie von einer Kathodenabdeckung (6) umgeben ist, die durch die Lichtbogenentladung so stark aufgeheizt wird, daß das verdampfende Kathodenmaterial zur Arbeitsfläche (3a) der Kathode zurückverdampft, und die Standzeit der Anode dadurch verlängert wird, daß sie aus einem hitzebeständigen, elektrisch isolierenden Material in Form eines nachfüllbaren Behälters (10, 12) ausgebildet ist, der mit der Anodenbasisplatte (9) verbunden ist.

Die Aufgabe wird weiterhin durch ein Verfahren zur Zündung einer Vakuumlichtbogenentladung mit kalter selbstverzehrender Kathode und heißer selbstverzehrender Anode gelöst, wobei die Arbeitsfläche (3a) der Kathode (3) von einem temperaturbeständigen elektrisch isolierenden Material (4) umgeben ist, dieses isolierende Material (4) von einem äußeren, elektrisch leitfähigen Mantel (6) umgeben ist, und besagtes elektrisch isolierendes Material (4) auf der Stirnseite mit einer elektrisch leitfähigen Schicht (5) versehen ist, so daß die Kathode (3) und der Mantel (6) mit der Schicht (5) elektrisch verbunden sind und die Zündung so erfolgt, daß zunächst zwischen Anode und Kathode eine Spannung angelegt wird, und daß dann zwischen der Kathode (3) und dem leitfähigen Mantel (6) eine Zündspannung von mindestens 18 V angelegt wird, wobei der leitfähige Mantel (6) als Hilfsanode geschaltet wird, worauf zwischen der Arbeitsfläche der Kathode (3a) und dem leitfähigen Mantel (6) durch Verdampfung eines Teils der leitfähigen Schicht (5) ein elektrischer Überschlag entsteht und sich die Vakuumlichtbogenentladung zwischen der Anode (10, 12) und der Kathode (3) ausbildet.

In einer besonderen Ausführungsform erneuert sich die elektrisch leitfähige Schicht (5) durch Verdampfen des Elektrodenmaterials und dessen Kondensation auf der Stirnseite des temperaturbeständigen elektrisch isolierenden Materials (4).

Die Aufgabe der Erfindung wird weiterhin durch ein Verfahren zur Steuerung des Ionisationsgrades des auf ein zu beschichtendes Objekt auftreffenden Dampfes bei der Oberflächenbeschichtung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit selbstverzehrender kalter Kathode und selbstverzehrender heißer Anode gelöst, wobei der geradlinige Stromfluß zwischen der Arbeitsfläche der Kathode (3a) und dem Verdampfungsgut an der Anode (14) behindert wird und der Ionisationsgrad des Dampfes durch den Grad der Behinderung gesteuert wird. Die Steuerung des Ionisationsgrades kann dadurch vorgenommen werden, daß zwischen der Arbeitsfläche (3a) der Kathode (3) und dem Verdampfungsgut an der Anode (14) eine bewegliche Wandung angeordnet ist und damit der geradlinige Stromfluß zwischen der Arbeitsfläche der Kathode (3a) und dem Verdampfungsgut an der Anode (14) behindert wird. In einer weiteren Ausführungsform kann der Ionisationsgrad auch durch Bewegung der Elektroden aufeinander zu oder voneinander weg gesteuert werden. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist die Kathode von einer drehbaren Kathodenabdeckung (6) umgeben, in die ein Fenster (6a) eingelassen ist und der Ionisationsgrad des Dampfes durch Drehen dieser Kathodenabdeckung (6) gesteuert wird.

Wird bei einer Elektrodenanordnung (wie beispielsweise in Fig. 1 und Fig. 1a dargestellt) das in der Kathodenabdeckung (6) eingelassene Fenster (6a) nach der Zündung des anodischen Vakuumbogens so bewegt, daß zwischen Anode und Kathodenflecken auf der Arbeitsfläche (3a) keine geradlinige Verbindung durch das Fenster (6a) besteht, so sinkt bei konstant gehaltenem Bogenstrom die Abdampftrate von der Anode. Gleichzeitig erhöht

sich die über den Lichtbogen abfallende Brennspannung und der relative Anteil der Ionen im Dampf (Ionisationsgrad steigt stark an). Dieser Effekt ist in der nachfolgenden Tabelle 1 dargestellt für einen bei 100 A betriebenen anodischen Vakuumbogen mit Kupfer als anodischem Verdampfungsmaterial. Die Tabelle enthält von links nach rechts den Verdrehungswinkel des Fensters (6a) in Fig. 1 aus der geradlinigen Sehlinie zwischen Kathodenfläche (3a) und Anodentiegel (10) um eine Achse parallel zur Zeichenebene, die Wachstumsgeschwindigkeit der Kupferschicht auf einem Substrat in 30 cm Entfernung von der Anode, den Ionisationsgrad am Orte des Substrats, die Brennspannung des Lichtbogens und die Stromstärke des Lichtbogens.

Tabelle 1

Abhängigkeit der Abdampftrate von der Anode der Brennspannung und des Ionisationsgrads bei geändertem Verdrehungswinkel des Fensters (6a) und konstantem Bogenstrom

| Fensterwinkel<br>[°] | Rate<br>[nm/s] | Ionisationsgrad<br>in [%] | Spannung<br>in [V] | Strom<br>in [A] |
|----------------------|----------------|---------------------------|--------------------|-----------------|
| 0                    | 35             | 0,8                       | 17                 | 100             |
| 45                   | 10             | 51,3                      | 20                 | 100             |
| 90                   | 2              | 92,4                      | 27                 | 100             |

Damit besteht die einfache Möglichkeit, den Ionisationsgrad des auf das Objekt auftreffenden Dampfes während des Beschichtungsvorgangs zu verändern oder auch gezielt einzustellen. Dies kann auch allein durch Verdrehen der gesamten Kathode in Fig. 1 realisiert werden. Dieser Vorgang wird durch den Pfeil in Fig. 1 bis 1a dargestellt. Diese Methode ist dann vorteilhaft einzusetzen, wenn durch eine Erhöhung des Ionisationsgrades im Dampf eine Qualitätsverbesserung der hergestellten Beschichtung, wie zum Beispiel eine verbesserte Haftfestigkeit erreicht werden soll.

Die vorliegende Erfindung weist insbesondere den Vorteil auf, daß der Langzeitbetrieb des anodischen Vakuumlichtbogens bei einer industriellen Anwendung zur Materialbedampfung bei Stromstärken über 150 A zu einer gleichmäßigen, kontrollierbaren und reproduzierbaren Erzeugung von ionisiertem Materialdampf an der Anode führt und weiterhin dieser Langzeitbetrieb durch die Verlängerung der Standzeit der Elektroden und eine zuverlässige und schnelle Zündung des anodischen Vakuumlichtbogens ohne Bewegung von Elektroden oder Hilfselektroden und ohne Anwendung einer Hochspannung insbesondere unter Vermeidung einer Verschweißung beider Elektroden, ermöglicht wird.

Im folgenden wird die Erfindung an Hand von Zeichnungen erläutert und beispielhaft dargestellt.

Fig. 1 zeigt eine senkrecht angeordnete Kathode mit einer waagrecht zugeführten Anode; Fig. 1a zeigt eine perspektivische Darstellung einer Kathodenabdeckung; Fig. 2 zeigt zwei mögliche Ausführungen der elektrischen Versorgung; Fig. 3 zeigt eine Anodenkonstruktion mit einem elektrisch nicht leitenden Tiegel und einer elektrischen Kontaktierung des Verdampfungsgutes durch einen durch den Tiegelboden geführten Stift; Fig. 4 zeigt eine Anode entsprechend Fig. 3 in Verbindung mit einer waagrecht angeordneten Kathode; Fig. 5 zeigt eine Anode entsprechend Fig. 3 mit Verdampfungsstift; Fig. 6 zeigt eine Anode zur tiegellosen Verdampfung von Materialien; Fig. 7 zeigt eine coaxial ausgeführte Kathodenkonstruktion mit einer Anode entsprechend Fig. 3.

In Fig. 1 sind eine senkrecht eingebaute Kathode und eine waagrecht angeordnete Anode dargestellt. Die zylindersymmetrische Kathode besteht aus einer gekühlten Kathodenzuführung (1) einschließlich Dichtungsfläche und Dichtungsring zur Aufnahme der sich verbrauchenden Kathodenscheibe (3), einer Überwurfmutter (2) zur Halterung dieser Kathodenscheibe und einem auf diese Überwurfmutter gesetzten Rohr aus elektrisch isolierendem und thermisch belastbaren Material (4) sowie einer Kathodenabdeckung (6).

Die Kathodenscheibe (3) wird durch die Wirkung der Kathodenflecke auf der Kathodenarbeitsfläche (3a) während des Lichtbogenbetriebs verbraucht und ist mit Hilfe der Überwurfmutter leicht auswechselbar. Die direkte Kühlung der Kathodenscheibe setzt die Kathodenerosion herab und erhöht so die Standzeit der Kathode. Die Kathodenabdeckung verhindert die Beschlagung des zu beschichtenden Werkstücks mit Kathodenmaterial, und ein seitlich angebrachtes Fenster (6a) in der Kathodenabdeckung gewährleistet den Stromfluß zwischen Kathode und Anode.

Die Anode besteht aus einem kühlbaren Anodenträger (7) mit Dichtfläche und Dichtring, einer Überwurfmutter (8) zur Befestigung der Anodenbasisplatte (9) sowie einem Tiegel aus einem elektrisch leitfähigen, hochschmelzenden Material, der das Verdampfungsgut aufnimmt (10). Diese Elektrodenkonstruktion ermöglicht eine vereinfachte Zündung des Bogens ohne Bewegung der Elektroden. Zur Zündung muß die Stirnfläche des Isolationsrohres (4) metallisiert sein. Diese Metallisierung (5) muß bei erstmaliger Anwendung des Isolationsrohres durch eine vorhergehende Metallisierung aufgebracht werden.

Zur Einleitung der Zündung wird zunächst das Bogenversorgungsgerät eingeschaltet, so daß dessen Leerlaufspannung zwischen Kathode und Anode (Anschlüsse A und B in Fig. 1) anliegt. Beide Elektroden müssen gegenüber dem Vakuumgefäß elektrisch isoliert angeordnet sein. Dann wird zwischen Kathode (3) und Kathodenabdeckung (6) eine Hilfsspannung angelegt (Anschluß C). Diese kann einem separaten Netzgerät (U2) oder dem Lichtbogenversorgungsgerät U1 entnommen werden (vgl. Fig. 2). Die Stirnseite des Isolationsrohres stellt eine leitfähige Verbindung zwischen der Kathode und der Kathodenabdeckung her. Sobald die Hilfsspannung eingeschaltet wird, entsteht an einer günstigen Stelle auf der Stirnseite des Isolationsrohres ein Überschlag und

spontan entstehen auf der Arbeitsfläche der Kathode die Kathodenflecken. Zunächst entsteht ein kathodisch bestimmter Vakuumbogen zwischen der Arbeitsfläche der Kathode (3a) und der Kathodenabdeckung (6) als Hilfsanode. Gleichzeitig wird das mit der Anode verbundene Verdampfungsgut durch Elektronenbeschuß aufgeheizt und beginnt zu verdampfen. Die Aufheizzeit wird wesentlich beeinflusst durch die Anodenposition relativ zum Fenster (6a) in der Kathodenabdeckung und durch die zunächst anliegende Leerlaufspannung. Eine hohe Leerlaufspannung führt zu einer Erhöhung der Energie der auf die Anode auftreffenden Elektronen und somit zu einer schnelleren Aufheizung.

Sobald sich der anodische Vakuumbogen ausgebildet hat, kann der Zündlichtbogen abgeschaltet werden, der Zündvorgang ist dann beendet.

Während des Betriebs des Lichtbogens wird die Metallisierung (5) des Isolationsrohres (4) stets automatisch erneuert, so daß die Zündung beliebig oft wiederholbar ist.

Die Standzeit der Kathode wird günstig dadurch beeinflusst, wenn während des Bogenbetriebs der von Kathodenmaterial beaufschlagte Teil der Kathodenabdeckung (6) so heiß wird, daß das ankommende Kathodenmaterial wieder verdampft. Dieses Verhalten ist zum Beispiel mit Kathodenscheiben (3) aus Legierungen, vorzugsweise aus Messing, zu erreichen, wobei eine Überwurfmutter (2) aus Edelstahl dafür sorgt, daß die Kathodenflecken auf der Arbeitsfläche (3a) fixiert werden. Das aus der Kathode freigesetzte Zink wird von der Kathodenabdeckung bei relativ niedriger Wandtemperatur zurückverdampft. Diese Rückverdampfung verkleinert die von den Kathodenflecken verursachte Kathodenerosion beträchtlich und erhöht damit die Standzeit der Kathode. Es ist insbesondere günstig, Kathodenmaterialien zu verwenden, die zumindest einen Bestandteil mit geringer Verdampfungstemperatur aufweisen. Dies ist zum Beispiel bei Legierungen wie Messing der Fall, wo die Verdampfungstemperatur des Zinks niedriger als die des Kupfers ist.

Fig. 1a zeigt in perspektivischer Darstellung eine Kathodenabdeckung (6) mit dem Fenster (6a).

Fig. 2a und 2b zeigen zwei Beispiele der elektrischen Versorgung zum Zünden und Betreiben des anodischen Vakuumbogens. Die jeweilige elektrische Verbindung erfolgt durch Verbindung der Punkte A, B und C. Dabei stellt Punkt A die elektrische Verbindung zur Anode, B zur Kathode und C zur Hilfsanode dar. Die Hilfsanode kann elektrisch mit der Unterdruckkammer verbunden sein. Die Kathodenabdeckung (6) dient gleichzeitig als Hilfsanode und ist über das Schaltelement (20) und einen Schalter (21) mit dem anodenseitigen Ausgang der Versorgungsgeräte U1 bzw. U2 verbunden. Das Schaltelement (20) kann ein elektrischer Widerstand von 0,1 bis 1,0 Ohm oder einer Induktivität von zumindest 1 mH und einem elektrischen Widerstand von 0,1 bis 1,0 Ohm sein. Der Widerstand entkoppelt die Anode von der Hilfsanode, so daß eine Übertragung des Zündlichtbogens von der Hilfsanode auf die Anode erfolgt. Nach erfolgter Zündung des Lichtbogens kann die Hilfsanode mit Hilfe des Schalters (21) elektrisch vom Versorgungsgerät getrennt werden. Ein induktiver Anteil im Schaltelement (20) begünstigt die Zündung des Lichtbogens zur Hilfsanode beim Verdampfen der dünnen leitfähigen Schicht (5) auf dem Isolator (4) beim Einschalten des elektrischen Stroms zwischen Kathode und Hilfsanode.

Fig. 2a zeigt die Schaltung, bei der zum Zünden und Betreiben des anodischen Vakuumbogens nur ein Versorgungsgerät (U1) notwendig ist.

Fig. 2b besitzt im Zündkreis ein zusätzliches Versorgungsgerät (U2), das den Strom für die Entladung zwischen Kathode und Hilfsanode liefert.

Fig. 3 zeigt eine mögliche Ausführung der Anode. Auf eine kühlbare Zuleitung (7) ist mittels einer Überwurfmutter (8) eine Anodenbasisplatte (11) befestigt. Diese Anodenbasisplatte trägt einen Anodentiegel (12) aus einem elektrisch nicht leitenden hitzebeständigen Material. Dieses kann vorzugsweise ein keramisches Material sein. Das Verdampfungsgut (14) befindet sich in dem Tiegel (12) und wird über einen elektrisch leitfähigen Stift (13) mit der Anodenbasisplatte (11) elektrisch verbunden.

Fig. 4 zeigt eine Anordnung, in der der Anode aus Fig. 3 eine waagerecht eingebaute Kathode gegenübergestellt ist. Diese Kathode ist entsprechend der Kathode in Fig. 1 ausgebildet und bezeichnet. Im Unterschied zu Fig. 1 erfolgt der Stromfluß über ein stirnseitiges Fenster (6c), in der Kathodenabdeckung (6b), die wiederum gleichzeitig die Funktion einer Hilfsanode hat und das zu bedampfende Objekt gegen Kathodenspritzer abschirmt. Der Stromfluß zur Anode erfolgt über das elektrisch leitfähige Verdampfungsgut.

Fig. 5 zeigt eine andere Ausführungsform der Anode aus Fig. 3. Im Unterschied zu der Anode in Fig. 3 ragt der Kontaktstift (15) über die Oberfläche des Verdampfungsguts hinaus. Die DE-OS 32 39 131 beschreibt ein Verfahren zur thermischen Metallverdampfung, wobei flüssiges Metall aus einem Tiegel durch Benetzung eines teilweise eintauchenden, widerstandsbeheizten Verdampfers zugeführt wird. Dieser Kontaktstift (15) besteht aus einem Material, das vom schmelzflüssigen Verdampfungsgut während des Betriebs des anodischen Vakuumlichtbogens stark benetzt wird. Infolge dieser Benetzung kriecht das Verdampfungsgut an dem heißen Kontaktstift entgegen der Schwerkraft empor und wird hauptsächlich von der heißen Spitze des Kontaktstifts verdampft. Der Lichtbogen zeigt nämlich die Eigenschaft, den anodischen Ansatz an Orten mit geringen Energieverlusten zu plazieren; dieses ist bei der Anode in Fig. 5 die Spitze des Kontaktstifts. Verdampfendes Material wird über die Benetzung des Kontaktstifts stetig zum Verdampfungspunkt an dessen Spitze nachgeführt. Der Stift (15) wirkt gleichzeitig als Kontakt und Verdampfungsstift. Es versteht sich von selbst, daß eine solche Anode entsprechend Fig. 5 auch mit räumlich getrenntem Kontakt und Verdampfungsstab ausgebildet werden kann.

Die Ausführungsform der Anode in Fig. 5 kann zum Beispiel für die Verdampfung von Aluminium verwendet werden. Als Tiegelmateriale (12) ist dann Bornitrid zu verwenden, als Kontakt- und Verdampfungsstift (15) ist insbesondere Titandiborid geeignet. Beide Materialien werden von schmelzflüssigem Aluminium nicht angegriffen, wodurch sich bei der Verdampfung von Aluminium eine sehr hohe Standzeit an der Anode ergibt. Weiterhin ist auch eine Verdampfung von aluminiumhaltigen Legierungen, wie Aluminiumbronze, mit 92 Gew.-% Kupfer und 8 Gew.-% Aluminium aus dieser Anode möglich. Da das während des Betriebs schmelzflüssige Verdampfungsgut (14) nur als Vorrat für eine vorbestimmte Betriebszeit dient, kann das Fassungsvermögen des Tiegels



(12) sehr groß bemessen werden. Falls dann die Leistung des Lichtbogens nicht ausreicht, das gesamte Verdampfungsgut im schmelzflüssigen Zustand zu halten, kann eine Heizung des Tiegels durch eine vom Lichtbogen unabhängige Wärmequelle erfolgen. Zur Verminderung der Wärmeverluste des Verdampfungsgutes kann zwischen dem Anodentiegel (12) und der Anodenbasisplatte (11) eine thermische Isolierung angebracht werden.

Fig. 6 zeigt eine Anodenkonstruktion, die zur tiegellosen Verdampfung von Materialien geeignet ist. Auf der gekühlten Anodenbasisplatte (11) ist das Verdampfungsgut (17) in stabförmiger Geometrie angebracht. Eine Abschirmung (16) verhindert die Beaufschlagung der Anodenbasisplatte und der Überwurfmutter (8) mit verdampftem Material. Die Verdampfung erfolgt infolge des Anodenansatzes an der Spitze des Stabes, der demzufolge aus elektrisch leitfähigem Material bestehen muß. Diese Anodenkonstruktion ist vorzugsweise geeignet für die Verdampfung von Materialien, deren zur Verdampfung notwendige Temperatur unterhalb oder wenig oberhalb des jeweiligen Schmelzpunktes liegt. Im ersten Fall erfolgt eine Sublimation des Verdampfungsgutes, wie zum Beispiel bei dem Metall Chrom, im zweiten Fall kann sich bei geeigneter Geometrie des Stabes (17) ein solches Temperaturprofil innerhalb des Stabes ausbilden, daß die Verdampfung von einer flachen Schmelzfläche am oberen Ende des Stabes (17) erfolgt, ohne daß der Stab durch großvolumiges Aufschmelzen zerstört wird. So ist es beispielsweise möglich, mit dieser Anordnung Nickel oder Molybdän zu verdampfen.

Fig. 7 zeigt eine koaxiale Elektrodenkonfiguration, bei der eine Anode entsprechend Fig. 3 von einer ringförmigen Kathodenkonstruktion umgeben ist. Entsprechend den Kathoden in Fig. 1 und 3 enthält die Kathode eine gekühlte Zuführung (1), ein Kathodenmaterial (3) mit Arbeitsfläche (3a), ein elektrisch isolierendes Material (4) mit metallisierter Stirnfläche (5) und eine Hilfsanode (6, 6d). Die Innenwandung der Kathode ist gegenüber der Anode mit einer Abschirmung (18) versehen. Diese kann beispielsweise als elektrisch isoliert angebrachter Metallzylinder ausgeführt sein. Die Abschirmung (19) verhindert die Beaufschlagung eines zu bedampfenden Objektes mit Spritzern aus den Kathodenflecken und dient gleichzeitig zur Rückverdampfung von Kathodenmaterial. Diese Kathode kann die Anode als geschlossener Ring oder als Ringsegment umgeben. Im letzteren Fall kann im freibleibenden Kathodenabschnitt eine Nachführung für das Verdampfungsgut (14) untergebracht werden. Diese Elektrodenkonfiguration ermöglicht eine besonders lange Standzeit der Kathode, da infolge des koaxialen Kathodenaufbaus in der Umgebung der Anode sehr viel sich verbrauchendes Kathodenmaterial angeordnet werden kann. Besonders vorteilhaft ist es, wenn das verbrauchte Kathodenmaterial nicht durch mechanische Bewegung nachgeführt werden muß, sondern als Vorrat die Anode umgibt.

Die gezeigten Elektrodenanordnungen besitzen nur beispielhaften Charakter. Es ist zum Beispiel auch eine Vorrichtung denkbar, bei der eine Kathode aus Fig. 1 mit einer Anode aus Fig. 5 oder 6 betrieben wird.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Materialverdampfung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit einer selbstverzehrenden Kathode und einer selbstverzehrenden heißen Anode in einer Unterdruckkammer enthaltend eine Kathode mit einer kühlbaren Kathodenzuführung (1), auf der die Kathode (3) befestigt ist, wobei die Kathode (3) von einem temperaturbeständigen elektrisch isolierenden Material (4) umgeben ist, und dieses Material (4) wiederum von einem äußeren elektrisch leitfähigen Mantel (6) umgeben ist, wobei das Material (4) auf der Stirnseite mit einer elektrisch leitfähigen Schicht (5) versehen ist, so daß die Schicht (5) die Kathode (3) elektrisch mit dem äußeren Mantel (6) verbindet, und die Vorrichtung ferner eine Anode enthält bestehend aus einem kühlbaren Anodenträger (7), an dem die Anodenbasisplatte (9) befestigt ist, wobei sich an der Anodenbasisplatte (9) ein Behälter aus einem elektrisch leitfähigen, hochschmelzenden Material (10, 12) zur Aufnahme des Verdampfungsgutes befindet.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) aus einem keramischen Material besteht.
3. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) aus Bornitrid besteht.
4. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) in seiner Bodenplatte eine Bohrung aufweist, durch die ein elektrisch leitfähiger Stift (13, 15) geführt wird, der in den Behälter hineinragt, so daß das zur Verdampfung vorgesehene Material (14) mit dem Stift elektrisch verbunden ist.
5. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift aus Titandiborid besteht.
6. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (15) aus dem zur Verdampfung vorgesehenen Material (14) herausragt.
7. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (13) nicht aus dem zur Verdampfung vorgesehenen Material (14) herausragt.
8. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Stifte (13, 15, 17) vorhanden sind.
9. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (17) auch ohne Behälter vorhanden ist und auf der Anodenbasisplatte (11) eine elektrische Abschirmung (16) vorhanden ist mit einer mittig angeordneten Bohrung, durch die der Stift (17) geführt ist.
10. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Anode koaxial von der Kathode (3) umgeben ist.
11. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode (3) aus einer Legierung mit einem leicht zu verdampfenden Bestandteil besteht.
12. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode (3) aus Messing besteht.
13. Vorrichtung nach den Ansprüchen 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathodenzuführung (1) ein Gewinde enthält, an dem die Kathode (3) mittels einer Überwurfmutter (2) befestigt ist.

14. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß im äußeren elektrisch leitfähigen Mantel (6) ein Fenster (6a) vorhanden ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß sich zwischen dem Behälter (10, 12) an der Anode und der Anodenbasisplatte (9) eine thermisch isolierende Schicht befindet.

16. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) beheizbar ist.

17. Verfahren zur Verlängerung der Standzeit von Elektroden bei der Materialverdampfung mittels einer Vakuumlichtbogenentladung mit heißer selbstverzehrender Anode und kalter selbstverzehrender Kathode, wobei die Standzeit der Kathode dadurch verlängert wird, daß sie von einer Kathodenabdeckung (6) umgeben ist, die durch die Lichtbogenentladung so stark aufgeheizt wird, daß das verdampfende Kathodenmaterial zur Arbeitsfläche (3a) der Kathode zurückverdampft, und die Standzeit der Anode dadurch verlängert wird, daß sie aus einem hitzebeständigen, elektrisch isolierenden Material in Form eines nachfüllbaren Behälters (10, 12) ausgebildet ist, der mit der Anodenbasisplatte (9) verbunden ist.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß in die Kathodenabdeckung (6) ein Fenster (6a) eingelassen ist.

19. Verfahren nach den Ansprüchen 17 und 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) aus einem keramischen Material besteht.

20. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) aus Bornitrid besteht.

21. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß der Behälter (10, 12) in seiner Bodenplatte eine Bohrung aufweist, in dem ein elektrisch leitfähiger Stift (15, 13) befestigt ist, der in den Behälter hineinragt, so daß das zur Verdampfung vorgesehene Material (14) mit dem Stift elektrisch verbunden ist.

22. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (13, 15) aus Titandiborid besteht.

23. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (15) aus dem zur Verdampfung vorgesehenen Material (14) herausragt.

24. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (13) nicht aus dem zur Verdampfung vorgesehenen Material (14) herausragt.

25. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 24, dadurch gekennzeichnet, daß der Stift (17) auch ohne Behälter vorhanden ist.

26. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß die Anode coaxial von der Kathode (3) umgeben ist.

27. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode (3) aus einer Legierung besteht, in der zumindest ein leicht verdampfbares Material vorhanden ist.

28. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 27, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode (3) aus Messing besteht.

29. Verfahren nach den Ansprüchen 17 bis 28, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathodenzuführung (1) ein Gewinde enthält, an dem die Kathode (3) mittels einer Überwurfmutter (2) befestigt ist.

30. Verfahren zur Zündung einer Vakuumlichtbogenentladung mit kalter selbstverzehrender Kathode und heißer selbstverzehrender Anode, wobei die Arbeitsfläche (3a) der Kathode (3) von einem temperaturbeständigen elektrisch isolierenden Material (4) umgeben ist, dieses isolierende Material (4) von einem äußeren elektrisch leitfähigen Mantel (6) umgeben ist, und besagtes elektrisch isolierendes Material (4) auf der Stirnseite mit einer elektrisch leitfähigen Schicht (5) versehen ist, so daß die Kathode (3) und der Mantel (6) mit der Schicht (5) elektrisch verbunden sind und die Zündung so erfolgt, daß zunächst zwischen Anode und Kathode eine Spannung angelegt wird, und daß dann zwischen der Kathode (3) und dem leitfähigen Mantel (6) eine Zündspannung von mindestens 18 Volt angelegt wird, wobei der leitfähige Mantel (6) als Hilfsanode geschaltet wird, worauf zwischen der Arbeitsfläche der Kathode (3a) und dem leitfähigen Mantel (6) durch Verdampfung eines Teils der leitfähigen Schicht (5) ein elektrischer Überschlag entsteht und sich die Vakuumlichtbogenentladung zwischen Anode (10, 12) und Kathode (3) ausbildet.

31. Verfahren nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, daß sich die elektrisch leitfähige Schicht (5) durch Verdampfen des Elektrodenmaterials und dessen Kondensation auf der Stirnseite des temperaturbeständigen elektrisch isolierenden Materials (4) erneuert.

32. Verfahren zur Steuerung des Ionisationsgrades des auf ein zu beschichtendes Objekt auftreffenden Dampfes bei der Oberflächenbeschichtung mittels Vakuumlichtbogenentladung mit selbstverzehrender kalter Kathode und selbstverzehrender heißer Anode, wobei der geradlinige Stromfluß zwischen der Arbeitsfläche der Kathode (3a) und dem Verdampfungsgut an der Anode (14) behindert wird und der Ionisationsgrad des Dampfes durch den Grad dieser Behinderung gesteuert wird.

33. Verfahren zur Steuerung des Ionisationsgrades nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die Kathode von einer drehbaren Kathodenabdeckung (6) umgeben ist, in die ein Fenster (6a) eingelassen ist, und der Ionisationsgrad des Dampfes durch Drehen dieser Kathodenabdeckung (6) gesteuert wird.

34. Verfahren nach den Ansprüchen 32 und 33, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Arbeitsfläche (3a) der Kathode (3) und dem Verdampfungsgut an der Anode (14) eine bewegliche Wandung angeordnet ist und durch die Veränderung der Lage der Wandung der Ionisationsgrad gesteuert wird.

35. Verfahren nach den Ansprüchen 32 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß der Ionisationsgrad durch Bewegung der Elektroden gesteuert wird.



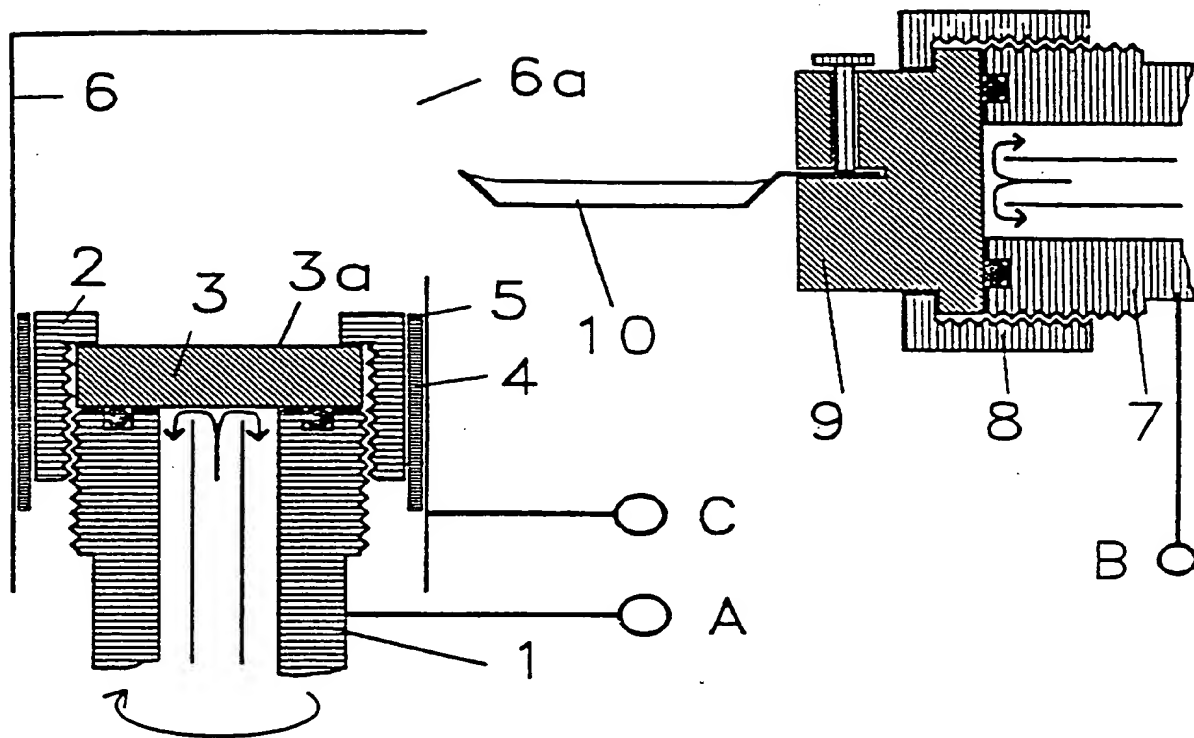


Fig. 1

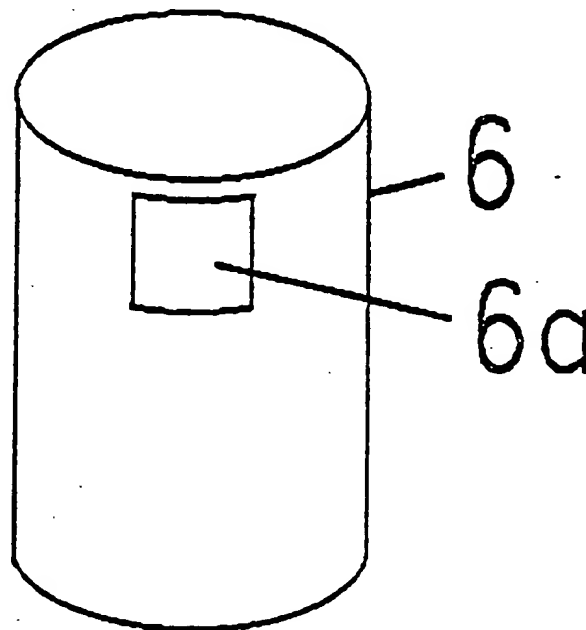


Fig. 1a

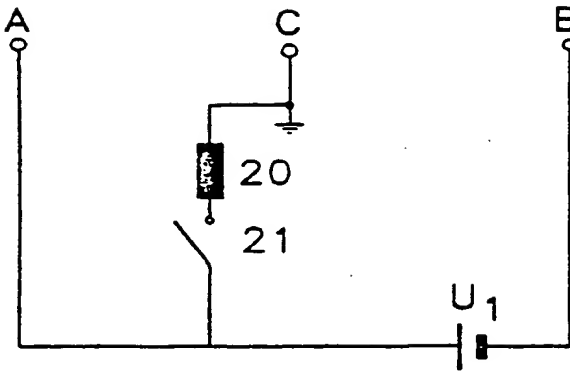


Fig. 2a

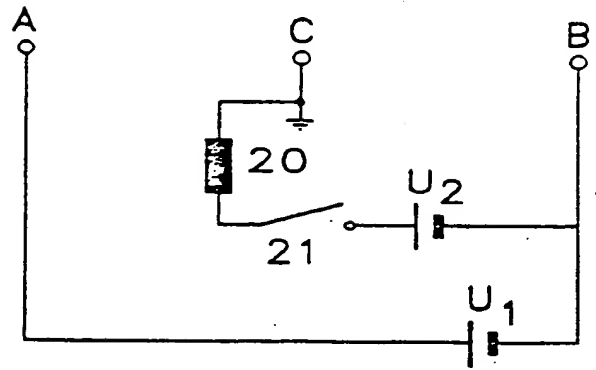


Fig. 2b

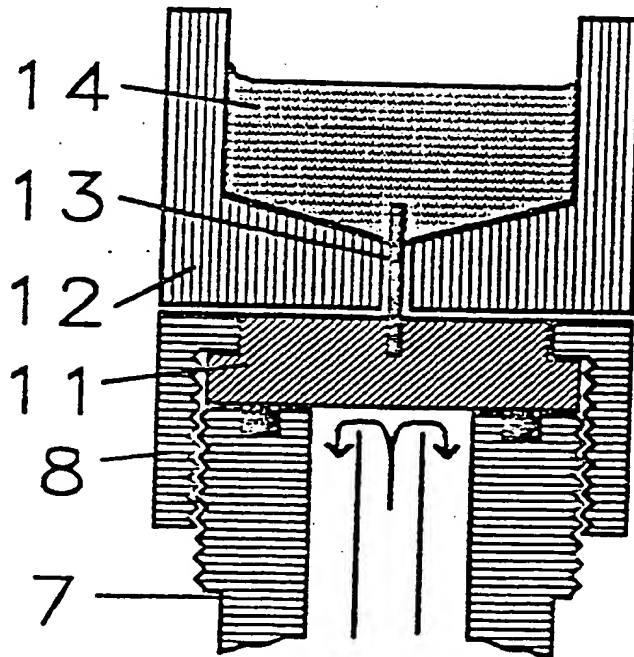


Fig. 3

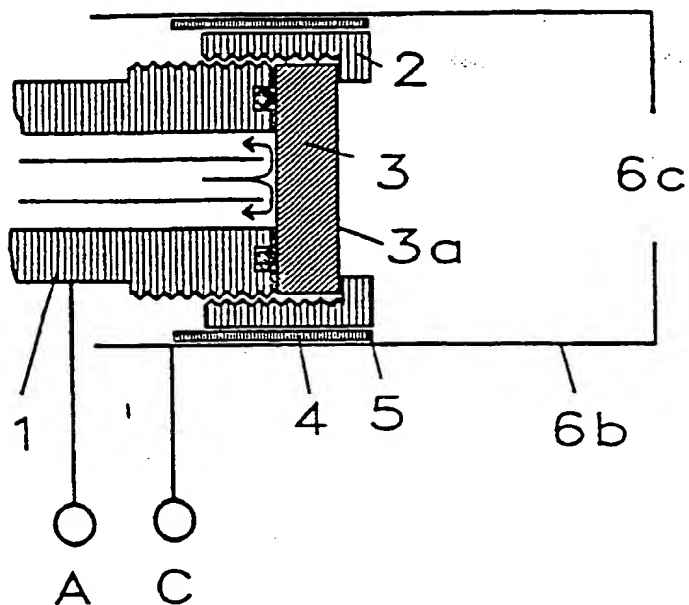


Fig. 4

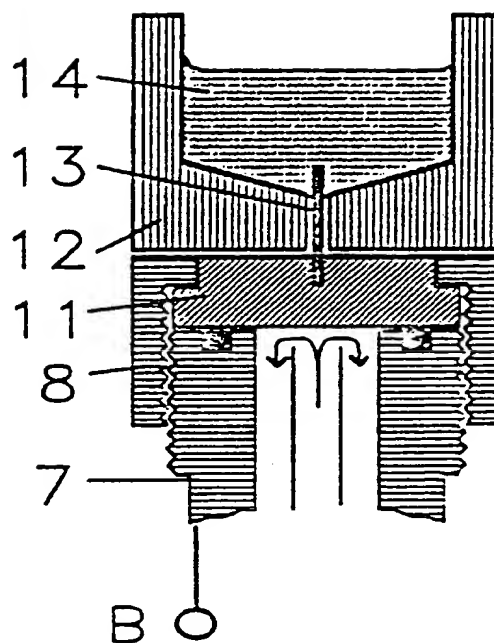
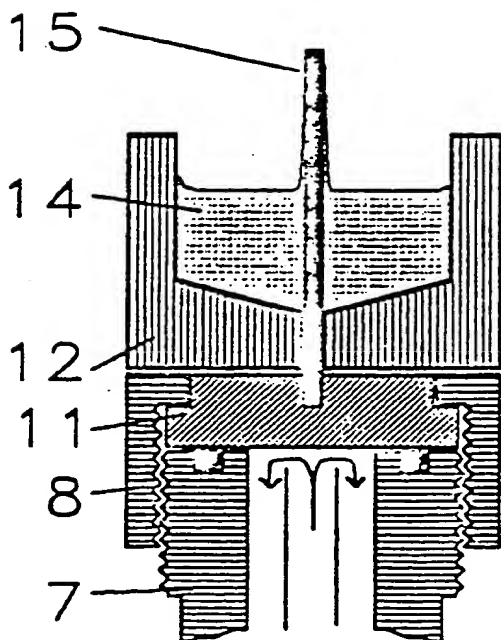


Fig. 5



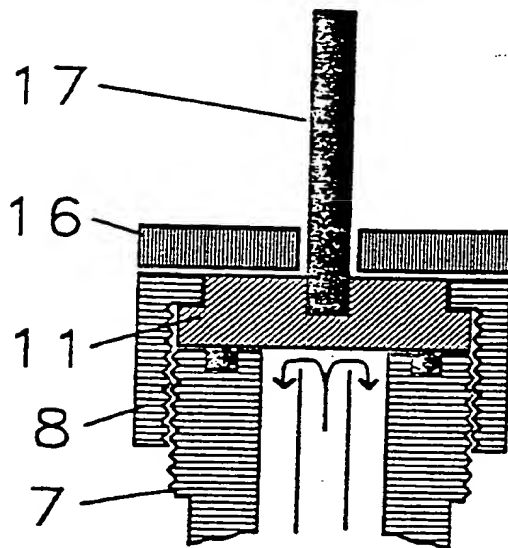


Fig. 6

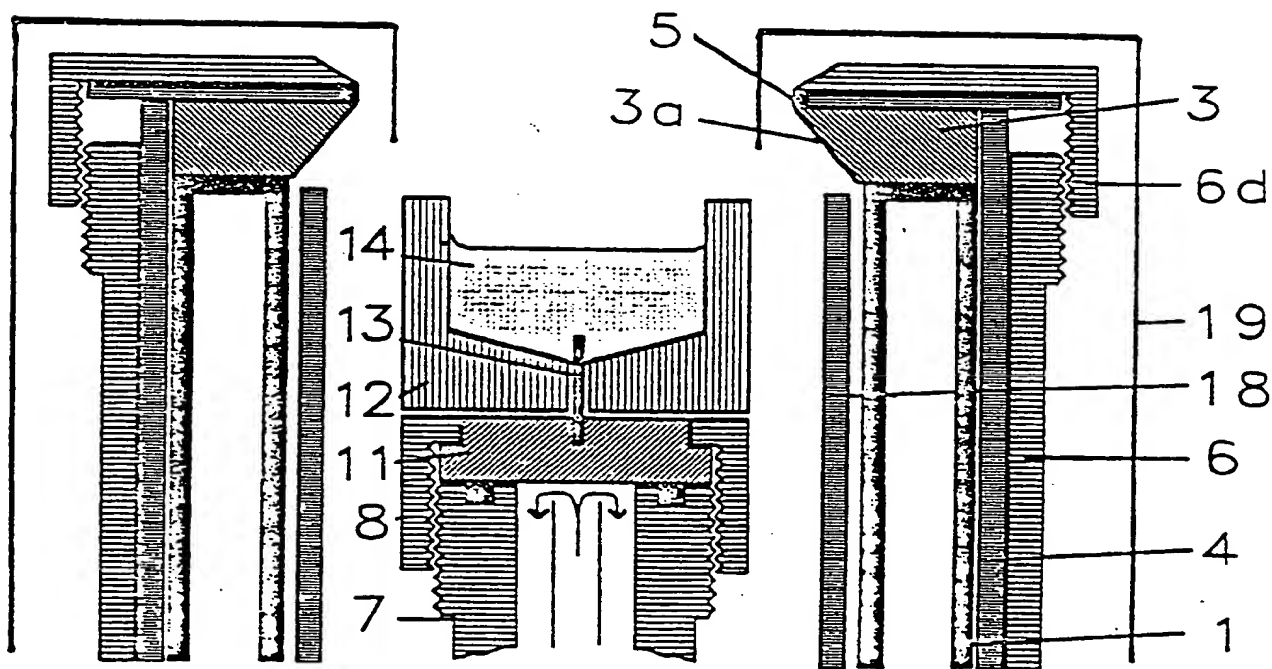


Fig. 7